



Zonas climáticas en el valle del río Cauca

Agroindustria de la caña de azúcar en Colombia





Chica Ramírez, Héctor Alberto

Zonas climáticas en el valle del río Cauca / Héctor Alberto Chica Ramírez;
Andrés Javier Peña Quiñones. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar
de Colombia (Ed.) -- Cali: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de
Colombia, 2024.

20 p. (Agroindustria de la caña de azúcar en Colombia)

Incluye referencias bibliográficas

ISBN 978-958-8449-36-4

1. Caña de azúcar 2. Valle del río Cauca. 3. Zonas climáticas. 3. Análisis de
conglomerados. 4. Red Meteorológica Automatizada.

I. Peña Quiñones, Andrés Javier II. Título. III. Agroindustria de la caña de
azúcar en Colombia.

551.60 CDD 23 ed.

C532

Cenicaña – Biblioteca Guillermo Ramos Núñez

Cenicaña © 2024

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

Calle 38 norte No. 3CN-75. Cali, Valle del Cauca, Colombia

Estación experimental: San Antonio de los Caballeros, vía Cali-Florida km 26

www.cenicana.org

Producción editorial: Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología

Coordinación editorial: Victoria Carrillo C.

Corrección de textos: Ernesto Fernández R.

Diseño e ilustración: Alcira Arias V.

Cita bibliográfica

Chica Ramírez, H. A. & Peña Quiñones, A. J. (2024). Zonas climáticas en el valle
del río Cauca. En: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia
(Ed). Agroindustria de la caña de azúcar en Colombia. Cenicaña. <https://www.cenicana.org/coleccion-agroindustria-de-la-cana-de-azucar/>

Zonas climáticas en el valle del río Cauca

Héctor Alberto Chica Ramírez

Andrés Javier Peña Quiñones



Contenido

Introducción	4
Metodología	6
Resultados	7
Conclusión y resumen	12
Anexo	15
Anexo 1. Variables y etiquetas utilizadas en el análisis de conglomerados	16
Anexo 2. Análisis utilizado para la definición del número óptimo de conglomerados	17
Referencias	18

Introducción

La zonificación climática con base en indicadores meteorológicos es de suma importancia no solo para facilitar su estudio, sino porque tiene especial relevancia en la planificación de diversas actividades, particularmente en la agricultura en la que el clima juega un papel fundamental (Piri et al., 2017). En cierto sentido, las zonificaciones climáticas basadas en el análisis de diversos elementos meteorológicos, traducidos en índices, permiten, según Eslava (1993), caracterizar las condiciones del clima y su evolución temporal y espacial. Criterio que avala Lowry (1973), quien afirma que la clasificación es la mejor herramienta para definir el clima. Al respecto, clasificaciones como la de Caldas-Lang (Eslava et al., 1986), la de De Martonne (Eslava et al., 1986a) e incluso la propuesta por Köppen (Eslava et al., 1986b) se sustentan en la apreciación de que el clima es la convergencia de un conjunto de elementos y fenómenos meteorológicos y no efecto de uno solo de ellos. Y aunque las caracterizaciones mencionadas solo consideran la precipitación y la temperatura del aire, Pabón et al. (2001) arguyen que estas variables –una relacionada con la humedad y la otra con la radiación, sintetizan el comportamiento del clima de una región.

De otro lado, es pertinente mencionar que si bien fueron meritorios los esfuerzos de Eslava et al. (1986) para clasificar el clima del país, por las características del valle del río Cauca y la escala utilizada en dichos estudios, en su perspectiva todo el valle está cobijado por una sola clase de clima. Esta consideración podría tener alguna justificación en el hecho de que este valle es una llanura aluvial con pocas diferencias de altitud y una precipitación media anual de 1200 mm. Pero es un hecho que, a diferencia del resto del territorio nacional, la característica distintiva del valle del Cauca es su clima cálido semihúmedo (Narváez y León, 2001).

En este documento se plantea una metodología de clasificación objetiva del clima de la región que permita identificar patrones espaciales o zonas con oferta climática contrastante. Si el clima es la oferta, su demanda está determinada por las características específicas del cultivo que influencia, en este caso la caña de azúcar. Se decidió, entonces, que la clasificación debería basarse en variables que tuviesen un efecto directo sobre el agroecosistema cañero.

En este propósito, se estableció que, entre los factores ambientales que afectan el crecimiento y la sobrevivencia de las plantas, la luz es el más importante (Bickford y Dunn, 1972), por lo cual en esta clasificación se prestó particular atención a la radiación solar global, que si bien entraña un espectro de longitud de onda más amplio que el de la luz visible, tiene con ella una estrecha relación¹. El estudio tuvo en cuenta, asimismo, que la temperatura del ambiente en que crecen plantas, microorganismos y artrópodos, mayormente ectotermos, determina su desarrollo (Willey, 2016), y que la temperatura del aire tiene marcada influencia en algunos parámetros asociados con la calidad o eficiencia de la caña de azúcar para generar un tipo especial de disacárido. Por ejemplo, en áreas de la región con prevalencia de valores bajos de temperatura media del aire se incrementa la acumulación de sacarosa en los tallos de la caña de azúcar, como sucede en otras latitudes (Clements, 1962; Alexander, 1973). A este respecto, valga mencionar que en el valle del río Cauca se ha generalizado el uso de la amplitud térmica –más conocida en el contexto regional como oscilación diaria de la temperatura del aire– para caracterizar el efecto de disminución de la temperatura del aire en las noches con respecto a la máxima diaria. Este índice o variable climática sintética considera el efecto planteado por Cardozo y Sentelhas (2013), por el que cuanto más frías son las noches más favorables son las condiciones de maduración. Se sumaron a esta clasificación tanto la precipitación como la humedad relativa del aire, puesto que el volumen total de agua caído en un periodo dado determina el régimen de humedad del suelo, define la productividad natural de un sitio y orienta actividades de manejo y adaptación de los cultivos como el riego y el drenaje. De otro lado, la humedad relativa del aire refleja el contenido de agua en la atmósfera, lo cual puede servir de guía para establecer los sitios y momentos de mayor probabilidad de invasión de patógenos (p. ej., Sumida et al., 2019).

¹ De acuerdo con Jacovides et al. (2003), la relación radiación fotosintéticamente activa/radiación global es de aproximadamente 45/100.

Metodología

Recolección de datos

Para definir la zonificación se utilizaron datos mensuales históricos de las 34 estaciones más antiguas de la red meteorológica del sector sucro energético del valle del río Cauca. Cada estación se caracteriza con base en 90 variables que describen el comportamiento medio de cinco elementos del clima durante las ocho temporadas climáticas identificadas en forma general en el valle del río Cauca por Cortés y Barrios (2010), y a escala media anual (**Anexo 1**). La temperatura del aire, por ejemplo, se describe por las variables temperatura mínima media, temperatura media, temperatura máxima media y oscilación media diaria de la temperatura; la humedad del aire, por la humedad relativa mínima media, la humedad relativa media, la humedad relativa máxima media y la oscilación media diaria de la humedad relativa; la precipitación y la radiación solar global, con base en los valores acumulados de estas variables (**Anexo 1**). Los valores de las variables descritas para caracterizar cada estación fueron analizados abarcando un periodo extenso del registro de cada una de ellas (en promedio, un poco más de 20 años).



Cada estación se caracteriza con base en 90 variables que describen el comportamiento medio de cinco elementos del clima durante las ocho temporadas climáticas identificadas en forma general en el valle del río Cauca por Cortés y Barrios (2010), y a escala media anual (**Anexo 1**).

Método de agrupamiento

Se empleó un análisis de conglomerados para agrupar las estaciones meteorológicas de acuerdo con las 90 características mencionadas, de tal forma que cada grupo fuera lo más homogéneo posible y todos totalmente diferentes. En este trabajo se utilizó un método jerárquico aglomerativo para conformar 34 grupos de tamaño uno cada uno. En tal sentido, las variables que caracterizan cada estación meteorológica se pueden asimilar a un dendrograma: cada hoja –cada grupo– se va agrupando en ramas junto con otras hasta llegar al tronco: tal sucede cuando todas las localidades se unen en un solo clúster. La similitud (el distanciamiento) existente entre cada localidad y el resto de las localidades se expresa con base en la matriz de distancias euclidianas. La metodología utilizada para la conglomeración es la de Ward (1963), que se asemeja más a un análisis de varianza que a una agrupación, dado que en cada paso del proceso de conglomeración se unen localidades o grupos de localidades, lo que se traduce en un menor incremento de la suma de cuadrados del error de las distancias intra-conglomerado. Por tal razón, esta metodología garantiza que los grupos sean homogéneos en el interior y heterogéneos en el exterior.

Resultados

De acuerdo con la metodología descrita existen en el valle del río Cauca siete zonas climáticas bien diferenciadas (Figura 1).

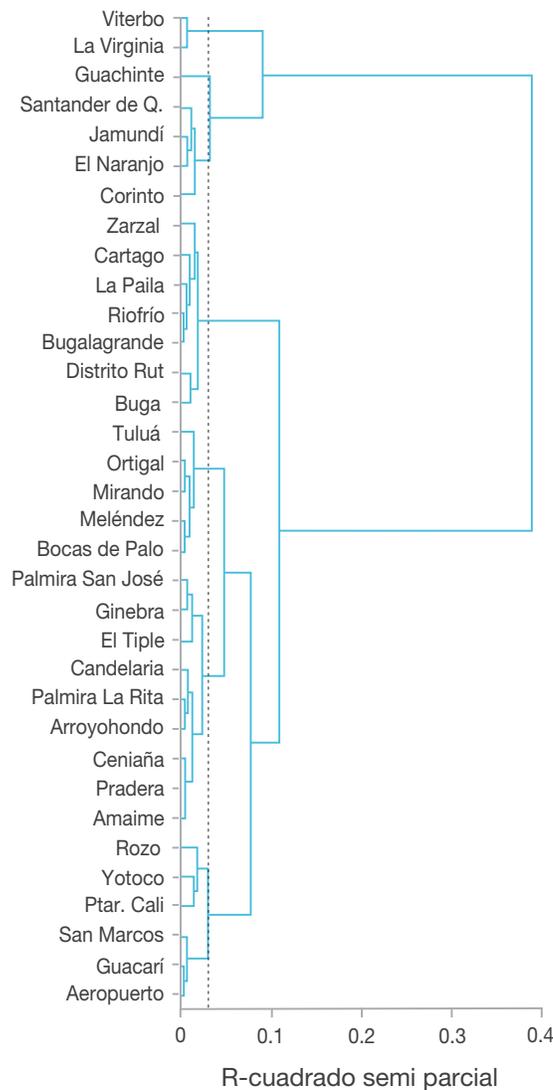


Figura 1. Definición de las zonas climáticas en el dendrograma. El análisis utilizado para definir el número de zonas o de grupos (línea punteada) se muestra en el Anexo 2.

Al norte de la región cañicultora, sobre el valle del río Risaralda se encuentra la zona climática 1 (dos estaciones) y sobre el valle del río Cauca la zona 2 (diez estaciones: cuatro en la zona 2a y seis en la zona 2b). A menor latitud, en el centro del valle del río Cauca, existen otras tres zonas climáticas: la zona 3 (seis estaciones al occidente), la zona 4 (nueve estaciones al oriente del valle y una al occidente) y la zona 5 (cuatro estaciones al sur). En el sur se distinguen la zona climática 6 (cinco estaciones) y la zona climática 7 (una estación al occidente) (Figura 2).

En la zona climática 1, cuyas localidades se caracterizan por sus altos valores de radiación solar global y su alta precipitación, la alta precipitación es propiciada por el ingreso de aire húmedo desde el oeste, que se concentra en los 5° de latitud norte, como corroboraron Poveda y Mesa (1999), quienes agregan que estos vientos provenientes del Pacífico, relativamente fríos, interactúan con los vientos del este (alisios), más cálidos. Esto se refleja en una profunda inestabilidad atmosférica que se traduce en lluvias, especialmente durante los momentos de menor presión atmosférica en superficie, como lo anotan Cortés et al. (2018). Ello nos dice que no es contradictorio que en una misma región alternen altas precipitaciones y radiaciones, dado que la lluvia es esencialmente nocturna (Cortés et al., 2018). Al comparar las distintas zonas entre sí la zona 1 se destaca por ser la más lluviosa y la de mayor radiación solar y humedad relativa del aire, lo que se asocia con altas temperaturas diurnas y mínimas nocturnas y amplia oscilación media diaria de la temperatura del aire.

- Zona 1. Valle del río Risaralda**
Viterbo (VIT), La Virginia (VIR)

- Zona 2a. Norte del VRC**
Cartago (CAR), Distrito de riego Roldanillo, La Unión y Toro (RUT), La Seca (SEC), Zarzal (ZAR)

- Zona 2b. Norte del VRC**
La Paila (PAI), Paila Arriba (PAR), Bugalagrande (BLG), Riofrío (RIO), Tuluá (TUL), Buga (BUG)

- Zona 3. Centro Occidente del VRC**
Yotoco (YOT), Guacarí (GUA), Rozo (ROZ), San Marcos (MAR), Aeropuerto (AER), PTAR Cali (PTA)

- Zona 4. Centro Oriente del VRC**
Ginebra (GIN), Amaime (AMA), Palmira La Rita (PLR), Palmira San José (PSJ), Arenillo (ARE), Candelaria (CAN), Pradera (PRA), Cenicaña (CEN), El Tiple (TIP), Arroyohondo (HON)

- Zona 5. Centro Sur del VRC**
Meléndez (MEL), Bocas del Palo (BDP), Ortigal (ORT), Miranda (MIR)

- Zona 6. Sur del VRC**
Florida (FLO), Jamundí (JAM), El Naranjo (NAR), Corinto (COR), Santander de Quilichao (SDQ)

- Zona 7. Guachinte**
Guachinte (GCH)

VRC: valle del río Cauca

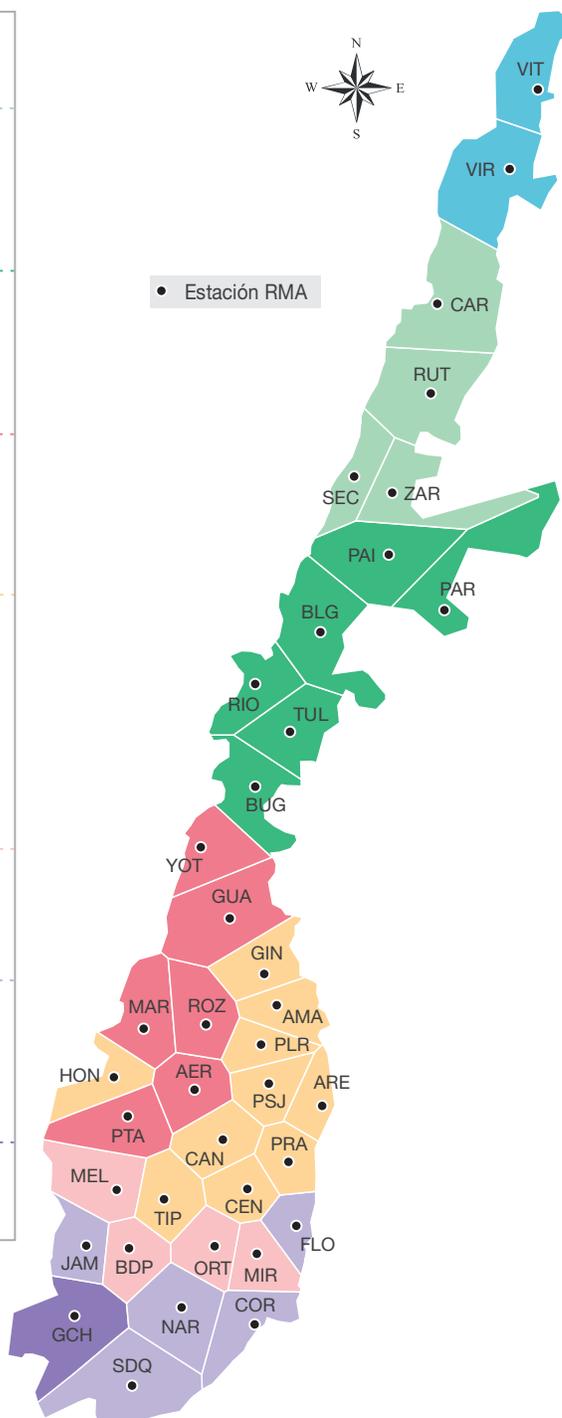
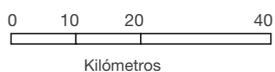


Figura 2. Zonas climáticas del valle del río Cauca.

El sur del valle del río Cauca es otro enclave húmedo. En esta parte del valle se encuentran dos zonas climáticas: la zona climática 6 y la zona climática 7. En esta latitud la alta precipitación deriva de la conformación orográfica, que permite la acumulación de aire húmedo durante el día por la predominancia de viento del norte y el drenaje de aire más frío desde la meseta de Popayán, lo que suscita condiciones de inestabilidad justo después de la puesta del sol. Además de lluviosa, la zona climática 6, donde soplan con mayor intensidad los vientos del sur, tiene temperaturas medias más bajas (mínima, media y máxima) que cualquier otro lugar de la región e igualmente las más bajas oscilaciones medias diarias de la temperatura del aire y por ende alta humedad relativa media. En la zona 7, ubicada en el suroccidente, las condiciones climáticas son diferentes. Contrario a lo que sucede en la zona 6, se registran en la zona 7 altos valores de temperatura media del aire y de oscilaciones medias diarias de la temperatura, lo cual conlleva que la humedad relativa media del aire sea allí mucho más baja que en la zona 6.

En el centro del valle se encuentran las zonas menos lluviosas. En la zona climática 3, asociada al efecto de la cordillera Occidental sobre las variables meteorológicas de las estaciones asentadas en esta área, se encuentran localidades (excepto Arroyohondo²) en donde se percibe con mayor intensidad el efecto Föhn³, que no solo genera un ambiente más seco (menos lluvia y humedad relativa en el aire), con valores altos

de radiación solar global, sino que conlleva que el ciclo diario de la temperatura del aire muestre un comportamiento característico y alcance su máximo diario más rápido que en el resto del valle del río Cauca; que esa temperatura no sea tan alta como en otras localidades; que no descienda a la misma tasa después de la puesta del sol y, por ende, que en esos sitios las noches (19:00-23:00 horas) sean más cálidas (Figura 3). Por estos factores, en esas zonas la caña de azúcar y la fauna y flora acompañantes están sometidas a altas tasas de descenso de la temperatura del aire entre la media noche y las 6:00 horas de la mañana⁴. En síntesis, las altas temperaturas medias registradas en la zona climática 3 no están asociadas a altas temperaturas máximas medias sino a noches cálidas⁵.

La zona climática 4 está vinculada al efecto que ejerce la cordillera Central sobre las variables meteorológicas en el área de influencia de las estaciones que hacen parte de ella. Por lo tanto, sus características son opuestas a las de la zona 3, es decir, baja radiación, baja temperatura media del aire y derivada de ella una alta humedad relativa media diaria del aire. En las localidades que hacen parte de la zona climática 4, el aire cálido del día es reemplazado más rápidamente por el aire más frío que baja de la cordillera Central, lo que se traduce en un claro efecto de brisa valle-montaña-valle. Este aire con mayor contenido de humedad genera condiciones más húmedas (humedad relativa del aire y precipitación) que en la zona climática 3.

² A pesar de que en Arroyohondo se percibe un marcado efecto Föhn, esta localidad hace parte de la zona climática 4.

³ Vale la pena aclarar que este efecto no se concentra en determinada área, por lo cual algunas localidades de otras zonas climáticas reciben su influjo, pero es menos notorio. Esto se debe a que la dinámica del tiempo marca días, horas e incluso meses en los que el efecto Föhn es más o menos fuerte.

⁴ Podría pensarse entonces en un índice climático sintético con objetivo agrícola que determine la diferencia entre las 00:00 y las 06:00, como posible predictor de los efectos del clima en la productividad de la caña de azúcar, en la población de plagas y la presencia de enfermedades y hasta en la proliferación de arvenses.

⁵ Esto se debe a que en el sector de la caña de azúcar la temperatura media diaria del aire se calcula como el promedio de 24 datos horarios.

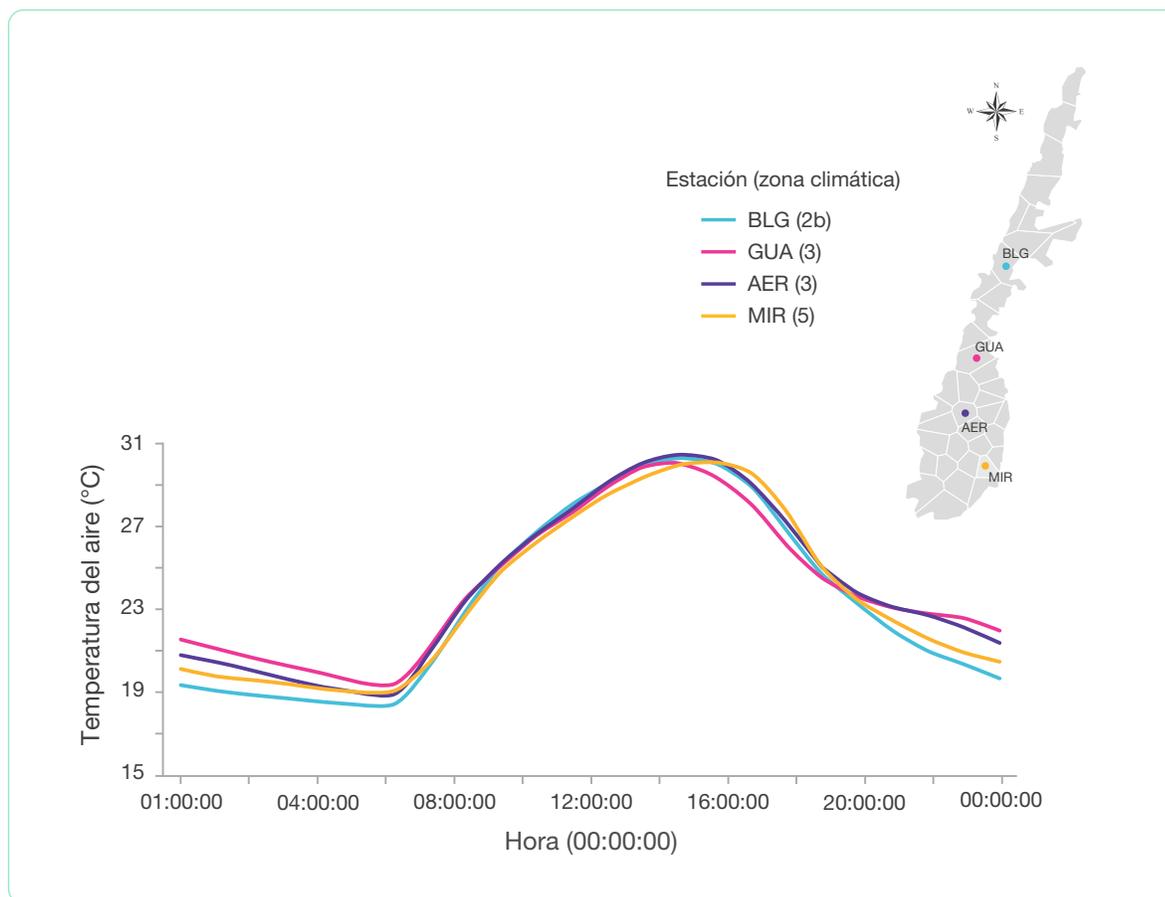


Figura 3. Ciclo diario de la temperatura del aire en dos estaciones de la zona climática 3, Guacarí y Aeropuerto (GUA y AER), con influencia del efecto Föhn de la cordillera Occidental, y dos estaciones de otras zonas climáticas, Bugalagrande (BLG) y Miranda (MIR).

La zona climática 2 hace parte de un núcleo seco en el que también se encuentra un área afectada por el efecto Föhn. No obstante, dado que en esa zona el valle es menos amplio, existe allí una alta diversidad climática. Se observa, por ejemplo, un efecto localizado sobre la estación La Seca, que vale la pena mencionar, aunque no hace parte del análisis de conglomerados. En esta localidad en especial las noches son mucho más cálidas que en cualquiera otra parte de la zona (Figura 4). En Bugalagrande, al sur de esta zona climática, el efecto de la cordillera Occidental es menos marcado (dada su cercanía a la cordillera Central), pero igualmente comparte las características propias de esta zona. Es esta

una zona de bajas precipitaciones –pero no tan bajas como las de la zona climática 3–, ya que se encuentra un poco más cercana a la entrada de aire húmedo desde el Chocó, factor mencionado anteriormente. Por este efecto se dan en la zona 2 temperaturas medias altas que hacen que la humedad relativa media diaria sea baja, y por ser una zona de transición entre la zona climática 1 y la zona climática 3 tiene alta radiación, incluso superior a la que se registra en las localidades de esta última zona.

En virtud de lo anterior, se hizo un nuevo análisis estadístico que permitió dividir la zona 2 en 2a y 2b.

La zona 2a se diferencia de la 2b en que en la primera las condiciones de radiación y temperatura son mayores presentándose una mayor evaporación. La zona 2b conserva una mayor oscilación de temperatura con mayor radiación y lluvia que la 2a.

Así como la zona climática 2 expresa una condición climática de transición entre las zonas climáticas 1 y 3, la zona climática 5 es una transición clara entre lo que es el sur (zonas 6 y 7) y el centro del valle del río Cauca (zonas 3 y 4). En esta zona se presentan las altas radiaciones de la zona climática 3, la alta humedad de la zona 6 y temperaturas y precipitaciones intermedias entre

las del sur y las del centro del valle. Es claramente una zona que delimita el cambio de pendiente en el flujo del río Cauca y que muestra la transición del valle semihúmedo y cálido al valle menos cálido y más húmedo.

La zona climática 2 hace parte de un núcleo seco en el que también se encuentra un área afectada por el efecto Föhn. No obstante, dado que en esa zona el valle es menos amplio, existe allí una alta diversidad climática.

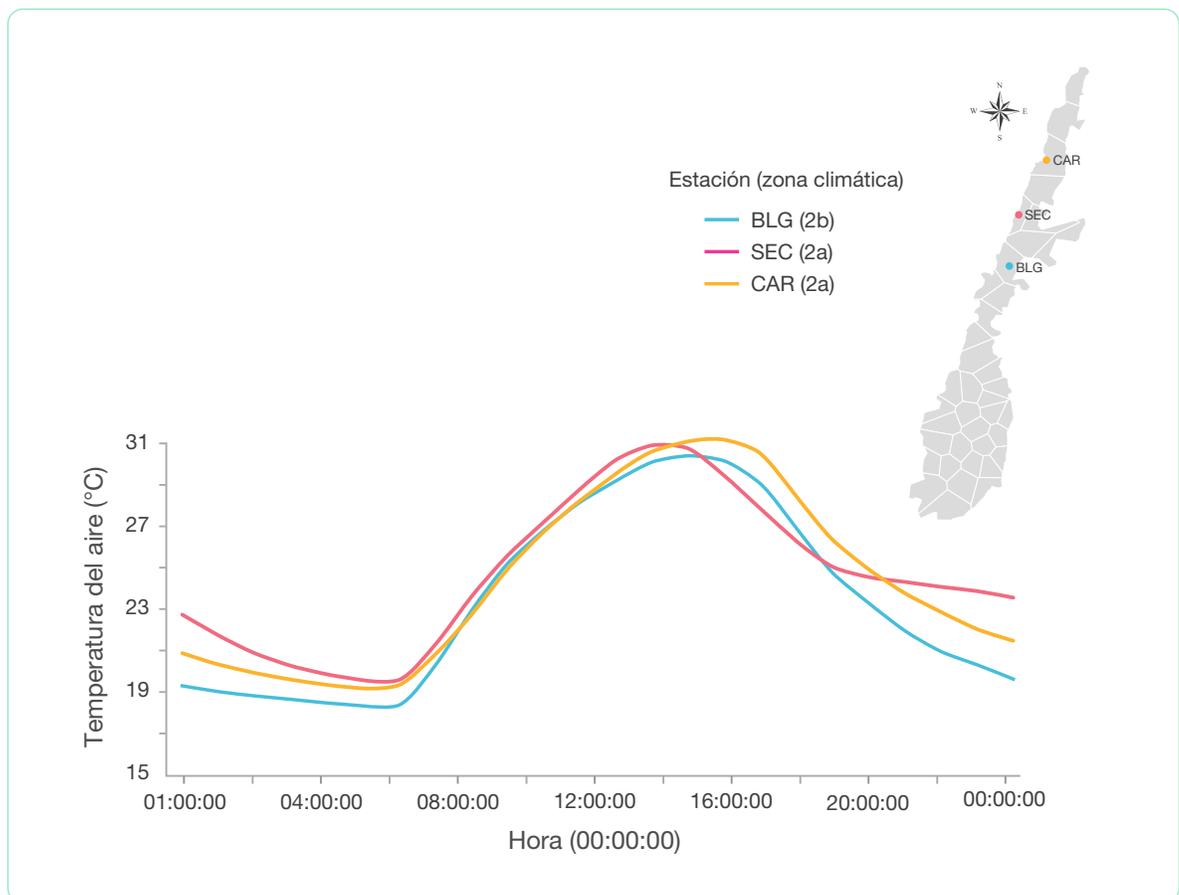


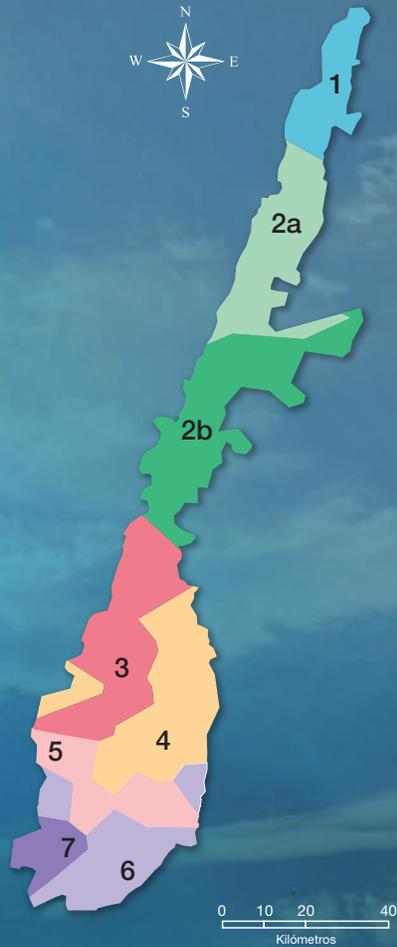
Figura 4. Ciclo diario de la temperatura del aire en tres estaciones de la zona climática 2, Bugalagrande (BLG), La Seca (SEC) y Cartago (CAR), con influencia del efecto Föhn de la cordillera Occidental.

Conclusión y resumen

Hay en el valle del río Cauca siete zonas climáticas contrastantes que determinan áreas con oferta similar para el cultivo de la caña de azúcar. El análisis objetivo de los datos climáticos, utilizando técnicas estadísticas de conglomeración, definió zonas de acuerdo con el efecto de los factores formadores del clima, especialmente la orografía. Se encuentran en los extremos norte y sur de la región dos enclaves lluviosos con características contrastantes⁶.

Al norte, el valle del río Risaralda se caracteriza por los altos volúmenes de lluvia, alta humedad del aire y altas oscilaciones de temperatura del aire (zona climática 1). En el sur se conforman dos zonas, una lluviosa con muy bajas temperaturas del aire y baja radiación global (zona climática 6) y otra zona igualmente lluviosa, con altas temperaturas medias y más bajas radiaciones que en la zona 6 (zona climática 7). Entre estos dos enclaves se encuentran las otras cuatro zonas, que tienen promedios anuales de lluvia más bajos, especialmente las zonas 2 y 3, donde hay influencia de entradas de aire frío y seco desde el Pacífico. No obstante, se diferencian estas dos zonas secas por el ciclo diario de la temperatura del aire, que hace que en la zona 2 se presenten mayores oscilaciones medias diarias de la temperatura, en tanto la zona 3 tiene mayores temperaturas medias del aire. La zona 5 es un poco más lluviosa que la zona 4 y ambas similares en cantidad de lluvia a la zona climática 2, la gran diferencia es que en la zona 2 hay mayor oferta de radiación global.

⁶ Chica et al. (2021) ya habían discutido con respecto a la diferencia marcada entre los patrones de lluvia de estos dos enclaves, los cuales tienen una tendencia monomodal.



- Zona climática 1:**
 Valores máximos de precipitación, radiación solar y humedad relativa del aire. Valores altos de temperaturas (mínima, máxima y media) y oscilación de temperatura.
- Zona climática 2:**
 Valores máximos de temperatura máxima y oscilación de temperatura, y altos de radiación solar, temperatura mínima y temperatura media del aire (en todos los casos, zona 2a>2b). Valores bajos de precipitación y humedad relativa del aire (zona 2b>2a).
- Zona climática 3:**
 Valores máximos de temperatura mínima y temperatura media del aire. Valores mínimos de precipitación y humedad relativa del aire. Valores altos de radiación solar y temperatura máxima y valores bajos de oscilación de temperatura.
- Zona climática 4:**
 Valores mínimos de radiación solar y valores bajos de precipitación, humedad relativa, temperaturas (mínima, máxima y media) y oscilación de la temperatura.
- Zona climática 5:**
 Valores altos de humedad relativa del aire y radiación solar global. Valores intermedios de precipitación y oscilación de temperatura y bajos de temperaturas mínima, máxima y media.
- Zona climática 6:**
 Valores mínimos de oscilación de temperatura y temperaturas mínima, máxima y media. Valores bajos de radiación solar y altos de precipitación y humedad relativa del aire.
- Zona climática 7:**
 Valores altos de precipitación, temperatura mínima y oscilación de temperatura (≈ zona 1), temperatura máxima y temperatura media del aire (≈ zona 3). Valores bajos de radiación solar (≈ zona 6) y humedad relativa (≈ zona 3).

Elemento del clima	Zonas climáticas 1 a 6 ordenadas según los valores de los elementos del clima					
	Máximo	disminuye				Mínimo
Precipitación (mm)	1	6	5	2	4	3
Radiación global (cal/cm ² /día)	1	2	3	5	6	4
Humedad relativa (%)	1	5	6	2	4	3
Temperatura mínima (°C)	3	2	1	4	5	6
Temperatura máxima (°C)	2	1	3	5	4	6
Temperatura media (°C)	3	2	1	5	4	6
Oscilación de la temperatura (°C)	2	1	5	3	4	6

Zonas climáticas en el valle del río Cauca y sus principales características.



Anexo

Anexo 1. Variables y etiquetas utilizadas en el análisis de conglomerados	16
Anexo 2. Análisis utilizado para la definición del número óptimo de conglomerados	17

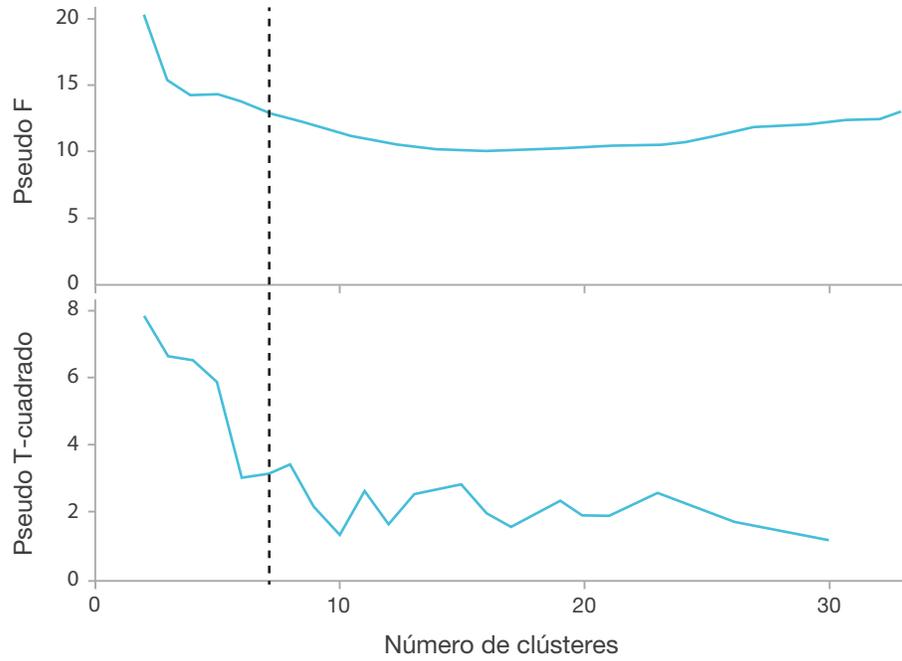
Anexo 1. Variables y etiquetas utilizadas en el análisis de conglomerados.

x 1 tmp_mnmaA.1_seca x 2 tmp_mdia A.1_seca x 3 tmp_mxma A.1_seca x 4 osclcion_tmp A.1_seca x 5 hmd_rel_mnma A.1_seca x 6 hmd_rel_mdia A.1_seca x 7 hmd_rel_mxma A.1_seca x 8 osclcion_hr A.1_seca x 9 ppt A.1_seca x10 radsol A.1_seca	x11 tmp_mnma B.1_t_s_h x12 tmp_mdia B.1_t_s_h x13 tmp_mxma B.1_t_s_h x14 osclcion_tmp B.1_t_s_h x15 hmd_rel_mnma B.1_t_s_h x16 hmd_rel_mdia B.1_t_s_h x17 hmd_rel_mxma B.1_t_s_h x18 osclcion_hr B.1_t_s_h x19 ppt B.1_t_s_h x20 radsol B.1_t_s_h	x21 tmp_mnma C.1_lluv x22 tmp_mdia C.1_lluv x23 tmp_mxma C.1_lluv x24 osclcion_tmp C.1_lluv x25 hmd_rel_mnma C.1_lluv x26 hmd_rel_mdia C.1_lluv x27 hmd_rel_mxma C.1_lluv x28 osclcion_hr C.1_lluv x29 ppt C.1_lluv x30 radsol C.1_lluv
x31 tmp_mnma D.2_t_h_s x32 tmp_mdia D.2_t_h_s x33 tmp_mxma D.2_t_h_s x34 osclcion_tmp D.2_t_h_s x35 hmd_rel_mnma x36 hmd_rel_mdia D.2_t_h_s x37 hmd_rel_mxma x38 osclcion_hr D.2_t_h_s x39 ppt D.2_t_h_s x40 radsol D.2_t_h_s	x41 tmp_mnma E.2_seca x42 tmp_mdia E.2_seca x43 tmp_mxma E.2_seca x44 osclcion_tmp E.2_seca x45 hmd_rel_mnma E.2_seca x46 hmd_rel_mdia E.2_seca x47 hmd_rel_mxma E.2_seca x48 osclcion_hr E.2_seca x49 ppt E.2_seca x50 radsol E.2_seca	x51 tmp_mnma F.3_t_s_h x52 tmp_mdia F.3_t_s_h x53 tmp_mxma F.3_t_s_h x54 osclcion_tmp F.3_t_s_h x55 hmd_rel_mnma F.3_t_s_h x56 hmd_rel_mdia F.3_t_s_h x57 hmd_rel_mxma F.3_t_s_h x58 osclcion_hr F.3_t_s_h x59 ppt F.3_t_s_h x60 radsol F.3_t_s_h
x61 tmp_mnma G.2_lluv x62 tmp_mdia G.2_lluv x63 tmp_mxma G.2_lluv x64 osclcion_tmp G.2_lluv x65 hmd_rel_mnma G.2_lluv x66 hmd_rel_mdia G.2_lluv x67 hmd_rel_mxma G.2_lluv x68 osclcion_hr G.2_lluv x69 ppt G.2_lluv x70 radsol G.2_lluv	x71 tmp_mnma H.4_t_h_s x72 tmp_mdia H.4_t_h_s x73 tmp_mxma H.4_t_h_s x74 osclcion_tmp H.4_t_h_s x75 hmd_rel_mnma H.4_t_h_s x76 hmd_rel_mdia H.4_t_h_s x77 hmd_rel_mxma H.4_t_h_s x78 osclcion_hr H.4_t_h_s x79 ppt H.4_t_h_s x80 radsol H.4_t_h_s	x81 Tmin Media Anual x82 Tmed Media Anual x83 Tmax Media Anual x84 Oscil_temp Media Anual x85 hrmin Media Anual x86 hrmed Media Anual x87 hrmax Media Anual x88 Oscil_hr Media Anual x89 ppt Acumulada x90 radsol Acumulada

1_seca Primera temporada seca
 1_lluv Primera temporada lluviosa
 2_seca Segunda temporada seca
 2_lluv Segunda temporada lluviosa

1_t_s_h Primera transición seca-húmeda
 2_t_h_s Primera transición húmeda-seca
 3_t_s_h Segunda transición seca-húmeda
 4_t_h_s Segunda transición húmeda-seca

Anexo 2. Análisis utilizado para la definición del número óptimo de conglomerados.



Referencias

- Alexander, A.G. (1973). *Sugarcane Physiology*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
- Bickford, E.; Dunn, S. (1972). *Lighting for Plant Growth*. The Kent State University Press, Kent, Ohio, USA.
- Cardozo, N. & Sentelhas, P. (2013). Climatic effects on sugarcane ripening under the influence of cultivars and crop age. *Scientia Agricola*, 70 (6), pp. 449-456. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162013000600011>
- Chica Ramirez, H.A., Gómez Gil, L.F., Bravo Bastidas, J.J. et al. (2021). Site-specific intra-annual rainfall patterns: a tool for agricultural planning in the Colombian sugarcane production zone. *Theor Appl Climatol* 146, 543–554. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03755-1>
- Clements, H.F. (1962). The ripening of sugar cane. *Sugar y Azúcar* 57, pp. 29-78.
- Cortés, E.; Barrios, C. (2010). Nuevo calendario de temporadas secas y lluviosas en el valle del río Cauca. *Carta Trimestral* 3-4. https://www.cenicana.org/pdf_privado/carta_trimestral/ct2010/ct3y4_10/ct3y4_10_p4-5.pdf
- Eslava, J.; López, V. y Olaya, G. (1986). Los climas de Colombia (sistema de clasificación Caldas-Lang), *Revista Atmósfera*, 7, pp. 41-47.
- Eslava, J.; López, V. y Olaya, G. (1986a). Los climas de Colombia (Sistema de E. De Martonne), *Revista Atmósfera* 8, pp. 47-79.
- Eslava, J.; López, V. y Olaya, G. (1986b). Los climas de Colombia (Sistema de W. Koeppen) *Revista Atmósfera*, 5, pp. 35-81.
- Eslava, J. (1993). Climatología y diversidad climática de Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 18 (71), pp. 507-538.
- Jacovides, C. P.; Tymvios, F. S.; Asimakopoulos, D. N.; Theofilou, K. M. & Pashiardes, S. (2003). Global photosynthetically active radiation and its relationship with global solar radiation in the Eastern Mediterranean basin. *Theoretical and Applied Climatology*, 74 (3-4), pp. 227–233. doi:10.1007/s00704-002-0685-5
- Lowry, W. (1973). *Compendio de Apuntes de Climatología para la Formación de Personal Meteorológico de la Clase IV*. Traducción de Jacobo López. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra, 167 pp.

- Narváez, G. y León, G. (2001). Caracterización climática de la región andina colombiana. *Meteorología Colombiana* 4, pp. 121-126.
- Pabón, J.; Eslava, J. & Gómez, R. (2001). Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia. *Meteorología Colombiana* 4, pp. 47-59.
- Piri, I.; Khanamani, A.; Shojaei, S. y Fathizad, H. (2017). Determination of the best geostatistical method for climatic zoning in Iran. *Applied Ecology and Environmental Research*, 15 (1), pp. 93–103. doi:10.15666/aeer/1501_093103
- Sumida, Ciro; Hideki, Fantin; Lucas Henrique; Gonçalves, Ricardo; Marcelo, Canteri; Marcelo Giovanetti; Araújo, Kelly Lana & Giglioti, Éder Antônio. (2019). A system to map the risk of infection by *Puccinia kuehnii* in Brazil. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 41, e39905. Epub December 17, 2018. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v41i1.39905>
- Ward, J. H. (1963). "Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function." *Journal of the American Statistical Association* 58:236–244.
- Willey, N. (2016). *Environmental Plant Physiology*. Garland Science, New York, 389 pp.



LOS AUTORES

Héctor Alberto Chica Ramírez

Ingeniero Agrónomo de la Universidad de Caldas, magíster en Matemáticas de la Universidad Tecnológica de Pereira y candidato a doctor en Ingeniería de la Universidad del Valle. Cuenta con más de 20 años de experiencia en el área de análisis y diseño de experimentos, simulación estocástica y modelación determinística y estadística de cultivos en el sector cafetero y azucarero en empresas como Cenicafé y Cenicaña. Conferencista en congresos y seminarios nacionales e internacionales. Actualmente se desempeña como jefe del Servicio de Analítica de Cenicaña desempeñando funciones en la optimización matemática y formulación de proyectos encaminados a la modelación matemática de cadenas de abastecimiento.

Andrés Javier Peña Quiñones

Ingeniero Agrónomo, egresado de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, obtuvo su maestría en Ciencias, área Meteorología, en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá y su doctorado en Ingeniería Biológica y Agrícola en la Universidad del Estado de Washington, en Estados Unidos. Con más de 20 años de experiencia en el ejercicio de la Agroclimatología y más de 40 artículos publicados, estuvo vinculado entre 2018 y 2020 al Programa de Agronomía de Cenicaña y en la actualidad es investigador asociado de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) en el Centro de Investigación La Libertad, en la ciudad de Villavicencio.



Zonas climáticas
en el valle del río Cauca

www.cenicana.org